

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Februar 2003 (27.02.2003)

PCT

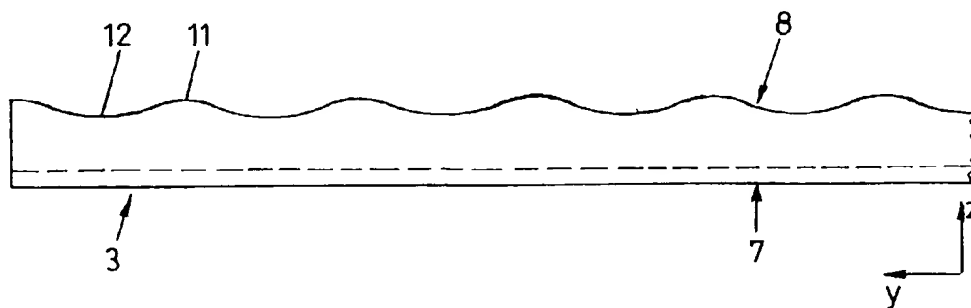
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/016963 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02B 3/08 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MIKHAILOV, Alexei
[RU/DE]; Am Spörkel 67, 44227 Dortmund (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/06042
- (22) Internationales Anmeldedatum: 3. Juni 2002 (03.06.2002) (74) Anwälte: BASFELD, Rainer usw.; Ostentor 9, 59757
Arnsberg (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PI, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
- (30) Angaben zur Priorität:
101 39 355.5 17. August 2001 (17.08.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): HENTZE-LISSOTSCHENKO PATENTVER-
WALTUNGS GMBH & CO. KG [DE/DE]; Dieckstraat
15, 25870 Norderfriedrichskoog (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ARRANGEMENT AND DEVICE FOR OPTICAL BEAM HOMOGENIZATION

(54) Bezeichnung: ANORDNUNG UND VORRICHTUNG ZUR OPTISCHEN STRAHLHOMOGENISIERUNG



(57) Abstract: A device for optical beam homogenization, comprising two essentially opposite-lying, optionally functional limiting surfaces which can be used as an incident surface (7) and an exit surface (8) for beams of light (2,5). The incident surface (7) and the exit surface (8) have lens-type structures at least in sections. The structures formed on the incident surface (7) and exit surface (8) are embodied in the form of alternately arranged convex sections (9,11) and concave sections (10,12). The transitions between the convex sections (9,11) and the concave sections (10,12) are relatively smooth. The invention also relates to an optical beam homogenization arrangement comprising a device (3) of the above-mentioned variety.

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung mit zwei einander im wesentlichen gegenüberliegenden optisch funktionalen Grenzflächen, die als Eintrittsfläche (7) und als Austrittsfläche (8) für Lichtstrahlen (2, 5) dienen können, wobei die Eintrittsfläche (7) und die Austrittsfläche (8) zumindest abschnittsweise linsenähnliche Strukturen aufweisen, wobei die auf der Eintrittsfläche (7) und der Austrittsfläche (8) ausgebildeten Strukturen als abwechselnd nebeneinander angeordnete konvexe Abschnitte (9, 11) und konkave Abschnitte (10, 12) ausgebildet sind, wobei die Übergänge zwischen den konvexen Abschnitten (9, 11) und den konkaven Abschnitten (10, 12) relativ glatt gestaltet sind. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Anordnung zur optischen Strahlhomogenisierung mit einer Vorrichtung (3) der vorgenannten Art.

WO 03/016963 A2



TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

-1-

**"Anordnung und Vorrichtung zur optischen
Strahlhomogenisierung"**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung mit zwei einander im wesentlichen gegenüberliegenden optisch funktionalen Grenzflächen, die als Eintrittsfläche und als Austrittsfläche für Lichtstrahlen dienen können, wobei die Eintrittsfläche und die Austrittsfläche zumindest abschnittsweise linsenähnliche Strukturen aufweisen. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Anordnung zur optischen Strahlhomogenisierung mit einer Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung, durch die ein zu homogenisierender Lichtstrahl hindurchtreten kann, wobei in Strahlrichtung hinter der Vorrichtung eine Sammellinse angeordnet ist, die den Lichtstrahl derart fokussiert, dass er etwa im Bereich der Brennebene der Sammellinse homogener ist als vor dem Eintritt in die Vorrichtung.

Eine Vorrichtung und eine Anordnung der vorgenannten Art sind aus der PCT-Anmeldung WO 98/10317 bekannt. Die darin beschriebene Vorrichtung umfasst sowohl auf ihrer Eintrittsfläche als auch auf ihrer Austrittsfläche eine ganze Reihe von parallel zueinander und nebeneinander angeordneten Zylinderlinsen. Die Zylinderlinsen der Eintrittsfläche und die Zylinderlinsen der Austrittsfläche sind hinsichtlich ihrer Zylinderachse senkrecht zueinander angeordnet. Hinter der Vorrichtung ist eine Sammellinse angeordnet, die das durch die Vorrichtung hindurchtretende Licht auf eine Brennebene fokussieren kann. Mit dieser Anordnung und dieser Vorrichtung kann eine Homogenisierung dadurch erzielt werden, dass auf unterschiedliche Bereiche der Zylinderlinsen auftreffende Teilstrahlen des Lichtstrahls in unterschiedliche Raumwinkелеlemente abgelenkt werden. Der Lichtstrahl ist somit nach Hindurchtritt durch die Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung leicht divergenter als vor dem Eintritt. In der Sammellinse werden parallel in diese einfallende Teilstrahlen derart abgelenkt,

-2-

dass sie in der Brennebene in einem Punkt zusammengeführt werden. Es findet somit in der Brennebene eine Überlagerung einzelner Teilstrahlen statt, wobei durch die vorherige Brechung an den Zylinderlinsen eine gleichmäßige Streuung in unterschiedliche Raumwinkelbereiche erzielt wurde. Aus diesem Grund ist der Querschnitt des Lichtstrahls in der Brennebene vergleichsweise homogen. Als nachteilig bei der vorgenannten Vorrichtung sowie der vorgenannten Anordnung erweist sich, dass die Vorrichtung aus nebeneinanderliegenden konvexen Zylinderlinsen zusammengesetzt ist, wobei in dem Verbindungsbereich dieser Zylinderlinsen eine äußerst starke Krümmung der Oberfläche der Eintrittsfläche bzw. der Austrittsfläche vorliegt. Die in diese Verbindungsbereiche einfallenden Teilstrahlen des zu homogenisierenden Lichtstrahls treten durch diese Verbindungsbereiche entweder ungehindert hindurch, so dass sie nicht homogenisiert werden können. Alternativ dazu werden sie unkontrolliert in unterschiedlichste Richtungen abgelenkt, so dass sie aus dem Strahl austreten und damit als Verluste anzusehen sind. Weiterhin besteht die Gefahr, dass in diesen scharfkantigen Verbindungsbereichen ein derartig kleiner Krümmungsradius vorhanden ist, dass es zu unerwünschten hochintensiven Fokusbildungen innerhalb der Vorrichtung oder kurz hinter der Vorrichtung kommt. Dies kann bei entsprechend hohen Laserintensitäten zu Beschädigungen führen. Als weiterhin nachteilig kann sich bei sehr hohen Laserintensitäten auch erweisen, dass es sich um konvexe Zylinderlinsen handelt, die hinter der Vorrichtung zu optischen Strahlhomogenisierung Fokusbereichen hoher Intensität bilden, so dass in diesen Fokusbereichen ebenfalls Beschädigungen der Umgebung auftreten können.

Aus dem Stand der Technik sind weiterhin Vorrichtungen der eingangs genannten Art bekannt, die auf der Eintrittsfläche und/oder der Austrittsfläche sphärisch konvexe Linsenelemente aufweisen. Diese sphärisch konvexen Linsenelemente sind ebenfalls dicht aneinander angeordnet. Sie homogenisieren den Lichtstrahl auf die gleiche Weise, wie die vorgenannten

-3-

Zylinderlinsen und weisen letztlich auch die gleichen Nachteile auf. Insbesondere aufgrund der Tatsache, dass sphärisch konvexe Linsenelemente verwendet werden, ist die Gefahr einer Beschädigung der gesamten Apparatur durch hochintensive Fokusbereiche ausgesprochen groß. Weiterhin sind auch die Übergangsbereiche zwischen den einzelnen sphärischen Linsenabschnitten scharfkantig, so dass hier ebenfalls die vorgenannten Probleme auftreten können.

Das der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problem ist die Schaffung einer Vorrichtung und einer Anordnung der eingangs genannten Art, die effektiver gestaltet sind.

Dies wird hinsichtlich der Vorrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 und hinsichtlich der Anordnung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 9 gelöst.

Gemäß Anspruch 1 ist vorgesehen, dass die auf der Eintrittsfläche und der Austrittsfläche ausgebildeten Strukturen als abwechselnd nebeneinander angeordnete konvexe Abschnitte und konkave Abschnitte ausgebildet sind, wobei die Übergänge zwischen den konvexen Abschnitten und den konkaven Abschnitten relativ glatt gestaltet sind. Durch die Anordnung von konvexen und konkaven Abschnitten nebeneinander kann erfindungsgemäß der Übergang zwischen diesen Abschnitten relativ glatt, d. h., ohne zusätzliche Stufen oder Kanten ausgebildet werden. Insbesondere kann die Krümmung des konvexen Abschnitts in die Krümmung des konkaven Abschnitts übergehen. Insbesondere kann relativ glatt im Sinne der Erfindung bedeuten, dass der Übergangsbereich zwischen den konvexen Abschnitten und den konkaven Abschnitten im Vergleich zu der räumlichen Ausdehnung der konvexen und konkaven Abschnitte in einer Richtung senkrecht zur Eintrittsfläche und zur Austrittsfläche glatt ist, insbesondere keine Stufe oder Kante aufweist, die hinsichtlich ihrer Ausdehnung mit der Ausdehnung der Abschnitte in einer zu der Eintrittsfläche und der

-4-

Austrittsfläche senkrechten Richtung vergleichbar ist. Relativ glatt soll in diesem Sinne also nicht bedeuten, dass der Übergangsbereich zwischen den konvexen und den konkaven Abschnitten keinerlei Oberflächenrauigkeit aufweisen soll. Vielmehr soll der Übergangsbereich zwischen diesen Abschnitten keine Stufen oder Kanten aufweisen, die hinsichtlich ihrer räumlichen Ausdehnung wesentlich kleiner als die räumliche Ausdehnung der konvexen und konkaven Abschnitte in Lichthindurchtrittsrichtung sind.

Durch diese glatte Gestaltung des Übergangs zwischen den konvexen Abschnitten und den konkaven Abschnitten wird gewährleistet, dass durch diesen Übergangsbereich hindurchtretendes Licht nicht unkontrolliert aus der Vorrichtung herausgestreut wird. Auf diese Weise wird die Effektivität insbesondere hinsichtlich der Lichtausbeute erhöht. Weiterhin entstehen durch diesen glatten Übergang auch keine scharfen Kurven, die zu intensitätsstarken Fokuspunkten oder Fokuslinien hinter der Vorrichtung führen könnten. Weiterhin können auch durch diesen übergangslosen Verbindungsbereich zwischen den konvexen und konkaven Abschnitten keine auf diesen Bereich auftreffende Lichtstrahlen ungehindert hindurchtreten. Es wird also im Prinzip jeder der auf die Vorrichtung auftreffenden Teilstrahlen so abgelenkt, dass eine optimale Homogenisierung des in die Vorrichtung eintretenden Lichtstrahles gewährleistet werden kann.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die konvexen Abschnitte und die konkaven Abschnitte eine jeweils in der Eintrittsfläche bzw. der Austrittsfläche liegende Richtung aufweisen, längs der zumindest abschnittsweise die Krümmung der Abschnitte im wesentlichen konstant ist, wobei die Richtung im wesentlichen konstanter Krümmung der Eintrittsfläche zu der Richtung im wesentlichen konstanter Krümmung der Austrittsfläche senkrecht ausgerichtet ist. Es ergibt sich dadurch eine Struktur, die der Struktur der gekreuzten Zylinderlinsen

-5-

gemäß dem Stand der Technik ähnlich ist. Gemäß der Erfindung ist jedoch vorgesehen, dass immer eine konvexe langgestreckte linsenähnliche Struktur zu einer konkaven linsenähnlichen langgestreckten Struktur benachbart ist. Auf diese Weise kann im Gegensatz zum Stand der Technik der glatte Übergang ohne Stufen oder Kanten zwischen den konvexen und konkaven Abschnitten bzw. linsenähnlichen Strukturen gewährleistet werden.

Hierbei können insbesondere die konvexen Abschnitte und die konkaven Abschnitte in der jeweils zu der Richtung konstanter Krümmung senkrechten Richtung eine elliptische Form aufweisen. Alternativ dazu können die konvexen und die konkaven Abschnitte in der jeweils zu der Richtung konstanter Krümmung senkrechten Richtung auch eine hyperbolische oder parabolische oder polynome Form höherer Ordnung oder eine sinusähnliche Form aufweisen. Durch derartige Oberflächengestaltungen der konvexen und der konkaven Abschnitte wird vermieden, dass hinter der Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung Fokusbereiche mit hoher Intensität entstehen. Im Unterschied zu sphärischen Linsen oder zu Zylinderlinsen weisen beispielsweise elliptische Linsen keinen scharf definierten Fokusbereich auf, weil sie senkrecht zu der Richtung konstanter Krümmung eine sich im wesentlichen ständig ändernde Krümmung aufweisen.

Im Gegensatz zu einer sinusähnlichen Gestaltung weisen die als elliptische, hyperbolische, parabolische oder polynome Formen höher Ordnung ausgestalteten konvexen und konkaven Abschnitte zusätzlich den Vorteil auf, dass sie derart gestaltet werden können, dass eine ausgesprochen effektive Homogenisierung des Strahlquerschnitts erfolgen kann. Dies wird in der nachfolgenden Figurenbeschreibung unter Bezugnahme auf Figur 4 noch deutlicher erläutert.

Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass die Krümmung der konvexen Abschnitte im Mittel schwächer ausgebildet ist als die Krümmung der konkaven Abschnitte. Auf diese Weise

-6-

wird die Lichtintensität in den Fokusbereichen hinter den konvexen Abschnitten weiter verringert. Hinter den konkaven Abschnitten entstehen aufgrund der Tatsache, dass sie wie Zerstreuungslinsen wirken, gar keine Fokusbereiche.

Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die insbesondere für Lichtstrahlen mit geringerer Intensität geeignet ist, können die konvexen Abschnitte und die konkaven Abschnitte in der jeweils zu der Richtung konstanter Krümmung senkrechten Richtung eine Kreisabschnittsform aufweisen, so dass nebeneinander angeordnete konvexe und konkave Zylinderlinsen entstehen. Auch diese nebeneinander angeordneten konvexen und konkaven Zylinderlinsen tragen zur erfindungsgemäßen Effektivitätssteigerung bei, weil der Übergangsbereich zwischen diesen konvexen und konkaven Zylinderlinsenabschnitten glatt gestaltet ist, so dass die vorgenannten aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile nicht auftreten. Lediglich bei ausgesprochen intensiven Laserstrahlen könnten hinter den konvexen Zylinderlinsenabschnitten Fokuslinien entstehen, die derart intensiv sind, dass unerwünschte Schädigungen erfolgen.

Es besteht erfindungsgemäß die Möglichkeit, dass sowohl auf der Eintrittsfläche als auch auf der Austrittsfläche eine große Anzahl von konvexen Abschnitten und konkaven Abschnitten ausgebildet sind, vorzugsweise etwa 100 bis 500, insbesondere etwa 300. Je nach Anwendung kann diese Zahl der konvexen und konkaven nebeneinanderliegenden Abschnitte erhöht oder reduziert werden. Dies ist unter anderem von der Güte der Intensitätsverteilung des Querschnitts des einfallenden Lichtstrahls abhängig.

-7-

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beiliegenden Abbildungen. Darin zeigen

Fig. 1a eine schematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Strahlhomogenisierung;

Fig. 1b eine gegenüber Fig. 1a um 90° gedrehte Seitenansicht;

Fig. 1c Diagramme, die die Intensitätsverteilungen des Strahls an einzelnen Stellen des in Fig. 1a und Fig. 1b abgebildeten Strahlengangs zeigen;

Fig. 2a eine Draufsicht auf einen Abschnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Strahlhomogenisierung;

Fig. 2b eine Ansicht gemäß dem Pfeil IIb in Fig. 2a;

Fig. 2c eine Ansicht gemäß dem Pfeil IIc in Fig. 2a;

Fig. 3 eine detaillierte Seitenansicht, die die Brechung einer ganzen Anzahl von Teilstrahlen an Linsenflächen der Vorrichtung zur Strahlhomogenisierung verdeutlicht;

Fig. 4 ein Diagramm, das die Ablenkung von einfallendem Licht durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Strahlhomogenisierung in unterschiedliche Raumwinkel in Abhängigkeit vom Einfallsort verdeutlicht.

Wie in Fig. 1a und Fig. 1b abgebildete erfindungsgemäße Anordnung umfasst eine Lichtquelle 1 mit einem von dieser Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahl 2, der durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung 3 zur Strahlhomogenisierung

-8-

hindurchtritt und daran anschließend von einer Sammellinse 4 fokussiert wird. Der aus der Sammellinse 4 austretende Lichtstrahl 5 ist in Fig. 1a und Fig. 1b in seinem Verlauf bis zur Brennebene 6 der Sammellinse 4 abgebildet.

In Fig. 2 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung 3 zur Strahlhomogenisierung detailliert abgebildet. Hierbei ist die Struktur der Vorrichtung 3 nicht maßstabsgetreu sondern zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt. Dabei weist die Vorrichtung 3 eine im wesentlichen quadratische Eintrittsfläche 7 und eine dieser gegenüberliegende im wesentlichen quadratische Austrittsfläche 8 auf. Sowohl auf der Eintrittsfläche 7 als auch Austrittsfläche 8 sind konvexe Abschnitte 9, 11 und konkave Abschnitte 10, 12 ausgebildet. Beispielsweise aus Fig. 2b sind die konvexen Abschnitte 11 und die konkaven Abschnitte 12 der Austrittsfläche 8 im Schnitt ersichtlich. Sowohl die konvexen Abschnitte 11 als auch die konkaven Abschnitte 12 erstrecken sich in einer Richtung, nämlich in x-Richtung mit unveränderlichem Querschnitt, so dass sich der aus Fig. 2b ersichtliche Querschnitt der Austrittsfläche 8 in x-Richtung, d. h. in die Zeichenebene von Fig. 2b hinein nicht ändert. Das gleiche gilt für die in Fig. 2c abgebildete Eintrittsfläche 7, wobei sich deren Querschnitt in y-Richtung, d. h. in Fig. 2c in die Zeichenebene hinein, nicht ändert. Sowohl die konvexen Flächen 9, 11 als auch die konkaven Flächen 10, 12 weisen im Querschnitt die Form einer Ellipse auf. Aufgrund dieser Ellipsenform ändert sich der Krümmungsradius zwischen den Scheitellinien der konvexen Abschnitte 9, 11 und den Scheitellinien der konkaven Abschnitte 10, 12 im wesentlichen stetig. In Fig. 2a sind zur Verdeutlichung die Scheitellinien 13 der konvexen Abschnitte 9, 11 gestrichelt bzw. durchgezogen eingezeichnet.

Aus Fig. 2b ist ersichtlich, dass die Krümmung der konvexen Abschnitte 11 im Mittel etwas schwächer ist als die Krümmung der konkaven Abschnitte 12. Dies gilt entsprechend für die konvexen Abschnitte 9 und die konkaven Abschnitte 10.

-9-

Erfindungswesentlich ist in diesem Zusammenhang, dass der Übergang zwischen den konvexen Abschnitten 9, 11 und den konkaven Abschnitten 10, 12 glatt ist, d. h. insbesondere differenzierbar ist. Dies bedeutet, dass eine Funktion $Z(y)$ in Fig. 2b bzw. $Z(x)$ in Fig. 2c in den Übergangsbereichen zwischen den konvexen Abschnitten 9, 11 und den konkaven Abschnitten 10, 12 keine Stufe oder dergleichen aufweisen. Insbesondere gilt beispielsweise $Z'(y_1) = Z'(y_2)$ für infinitesimal benachbarte Punkte y_1, y_2 im Übergangsbereich zwischen den konvexen Abschnitten 9, 11 und den konkaven Abschnitten 10, 12. Hierbei soll $Z'(y)$ die erste Ableitung der Funktion $Z(y)$ sein.

Die in Fig. 2 abgebildete erfindungsgemäße Vorrichtung kann beispielsweise in x- und in y-Richtung Außenabmessungen von 30 mm sowie in z-Richtung Außenabmessungen von 1,5 mm aufweisen. Die konvexen Abschnitte 9, 11 können beispielsweise eine Breite von etwa 30 μm aufweisen. Die konkaven Abschnitte 10, 12 können eine Breite von 70 μm aufweisen. Die Tiefe, d. h. die Erstreckung in z-Richtung, der konvexen Abschnitte 9, 11 von dem Übergangsbereich bis zu dem Scheitelpunkt kann weniger als 1 μm , beispielsweise zwischen 0,2 und 0,3 μm betragen. Die Tiefe der konkaven Abschnitte 10, 12 in z-Richtung kann ebenfalls weniger als 1 μm , beispielsweise 0,8 μm betragen. Es ist natürlich durchaus denkbar, für die erfindungsgemäße Vorrichtung 3 andere Abmessungen zu wählen. Es reicht jedoch vollständig aus, die vorgenannten sehr geringen Tiefen von weniger als 1 μm für die konvexen Abschnitte 9, 11 und die konkaven Abschnitte 10, 12 zu wählen. Weiterhin besteht bei manchen Anwendungen nicht die Notwendigkeit, eine derart kleine Periodenwellenlänge der Aufeinanderfolge von konvexen und konkaven Abschnitten 9, 10, 11, 12 zu wählen. Im vorliegenden Fall ist die Periodenwellenlänge zwischen zwei Scheitellinien 13 der konvexen Abschnitte 9, 11 etwa 100 μm . Es besteht bei entsprechenden Anwendungen durchaus die Möglichkeit Periodenwellenlängen zwischen den Scheitellinien 13 im Millimeterbereich zu wählen.

Bei den oben angegebenen Maßen von etwa 30 mm Breite und etwa 100 μm Periodenlänge besteht somit durchaus die Möglichkeit, etwa 300 oder auch mehr konvexen Abschnitte 9, 11 und konkave Abschnitte 10, 12 nebeneinander anzuordnen.

Aus Fig. 3 ist detailliert ersichtlich, wie gleichmäßig auf beispielsweise die Grenzfläche 8 auftreffende Teilstrahlen des Lichtstrahls 2 unterschiedlich abgelenkt werden. Es ist deutlich ersichtlich, dass die Teilstrahlen, die durch die konkaven Abschnitte 12 hindurchtreten voneinander weggestreut werden, so dass in z-Richtung hinter den konkaven Abschnitten 12 keine Fokussierung stattfindet. Die konkaven Abschnitte 12 wirken hierbei wie eine Zerstreuungslinse. Dagegen werden durch die konvexen Abschnitte 11 hindurchtretende Teilstrahlen in einem Fokusbereich 14 aneinander angenähert. Die konvexen Abschnitte 11 wirken hierbei ähnlich wie eine Sammellinse. Dieser Fokusbereich 14 stellt jedoch keinen räumlich sehr stark konzentrierten Fokuspunkt dar. Vielmehr findet bei dem abgebildeten Ausführungsbeispiel eine Verdichtung der auf die konvexen Abschnitte 11 auftreffenden Teilstrahlen um einen Faktor von etwa 6 statt. Beispielsweise kann bei einer Ausdehnung des konvexen Abschnittes 11 in y-Richtung in Fig. 3 von etwa 30 μm der Fokusbereich 14 in x-Richtung eine Ausdehnung von etwa 5 μm aufweisen. Dieser doch vergleichsweise verschmierte Fokusbereich 14 ergibt sich dadurch, dass der konvexe Abschnitt im Gegensatz zu sphärischer Geometrie, wie sie bei regulären Zylinderlinsen vorliegt, keine konstante Krümmung sondern eben eine sich im wesentlichen ständig ändernde Krümmung aufgrund des Ellipsenquerschnitts aufweist.

In Fig. 4 ist der Zusammenhang zwischen den in bestimmten Raumbereichen x, y auftreffenden Teilstrahlen und den Raumwinkeln θ dargestellt. Zur besseren Verdeutlichung ist im unteren Bereich der Fig. 4 ein Teil der Austrittsfläche 8 schematisch angedeutet. Die nachfolgenden Überlegungen gelten analog für die Eintrittsfläche 7. Insbesondere ist hierbei

-11-

ersichtlich, dass in ein Raumwinkelement $\Delta\theta$ abgelenkte Teilstrahlen jeweils Beiträge aus benachbarten Raumbereichen $\Delta x_1, y_1$ bzw. $\Delta x_2, y_2$ enthalten. Diese Raumbereiche $\Delta x_1, y_1$ und $\Delta x_2, y_2$ sind wie aus Fig. 4 ersichtlich in benachbarten konkaven bzw. konvexen Abschnitten der Austrittsfläche 8 angeordnet. Weiterhin ist aus Fig. 4 ersichtlich, dass die Intervalle $\Delta x_1, y_1$ und $\Delta x_2, y_2$ die Funktion $\theta(x, y)$ bei unterschiedlichen Steigungen treffen, so dass die in das gleiche Raumwinkelement $\Delta\theta$ abgelenkten Teilstrahlen aus unterschiedlich großen Raumbereichen $\Delta x_1, y_1$ und $\Delta x_2, y_2$ hervorgehen. Dies hat zur Folge, dass bei einer Mittelung über die gesamte Austrittsfläche 8 in y-Richtung bzw. über die gesamte Eintrittsfläche 7 in x-Richtung eine sehr homogene Verteilung der Lichtintensität in die einzelnen Raumwinkelbereiche $\Delta\theta$ stattfindet.

Dies ist in Fig. 1c verdeutlicht. In dem ersten bzw. linken Diagramm in Fig. 1c ist die Intensitätsverteilung $I(x, y)$ des Lichtstrahls 2 vor dem Eintritt in die erfindungsgemäße Vorrichtung 3 abgebildet. Fig. 1c ist entnehmbar, dass die Intensität sehr inhomogen über die Querschnittsfläche des Lichtstrahls 2 verteilt ist. Eine derartige extrem inhomogene Intensitätsverteilung ist beispielsweise typisch für einen Excimer-Laser. Das Mittlere der drei Diagramme in Fig. 1c verdeutlicht, dass die Intensitätsverteilung $I(\theta)$ nach dem Hindurchtritt durch die erfindungsgemäße Vorrichtung 3 sehr homogen ist, d. h. in gleiche Raumwinkelemente θ wird im wesentlichen auch die gleiche Intensität abgestrahlt. Das rechte Diagramm in Fig. 1c verdeutlicht, dass durch die Sammellinse 4 erreicht werden kann, dass in der Brennebene 6 der Sammellinse 4 die Intensitätsverteilung $I(x, y)$ des Lichtstrahls 5 auch hinsichtlich der räumlichen Verteilung homogenisiert werden kann. Dies hat seinen Grund darin, dass parallel auf eine Sammellinse auftreffende Lichtstrahlen in der Brennebene 6 in einem Punkt fokussiert werden, so dass aus einer homogenen Intensitätsverteilung $I(\theta)$ hinsichtlich der Raumwinkel eine homogene Intensitätsverteilung $I(x, y)$ hinsichtlich der räumlichen Verteilung wird.

-12-

Aufgrund der Tatsache, dass die Eintrittsfläche 7 und die Austrittsfläche 8 in z-Richtung beabstandet voneinander sind, werden die Fokusbereiche 14 der von den konvexen Abschnitten 9 der Eintrittsfläche 7 gebrochenen Teilstrahlen und der von den konvexen Abschnitten 11 der Austrittsfläche 8 gebrochenen Teilstrahlen einander nicht überlagern. Vielmehr werden diese in z-Richtung entsprechend voneinander beabstandet sein. Somit werden sich auch hier keine Bereiche zu hoher Intensität ausbilden. Gleiches wird natürlich auch dadurch erreicht, dass Flächen mit ellipsenähnlichem Querschnitt gewählt werden, wie oben verdeutlicht wurde.

Es besteht erfindungsgemäß durchaus auch die Möglichkeit, die Ellipsengeometrie der Querschnitte der konvexen und konkaven Abschnitte durch andere Formen zu ersetzen. Hier bieten sich zum Beispiel hyperbolische, parabolische sowie Flächen höherer Ordnung von Polynomen an. Vorteilhaft ist hierbei, dass keine Flächen konstanter Krümmung gewählt werden, weil dadurch unerwünschte Intensitätsmaxima hinter der Vorrichtung zur Strahlhomogenisierung entstehen könnten. Auch Flächen mit einem sinusförmigen Querschnitt sind eingeschränkt nutzbar. Problematisch bei Sinusflächen ist jedoch, dass die Intensitätsverteilungen nach dem Durchtritt durch eine derartige Fläche in der Regel nicht vollständig homogen sind, sondern eine Intensitätsverminderung etwa in der Mitte des Strahlquerschnitts aufweisen.

Bei einer verschlechterten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht auch die Möglichkeit, anstelle der elliptischen Querschnitte der konvexen und konkaven Abschnitte Flächen konstanter Krümmung, nämlich insbesondere Flächen mit sphärischem Querschnitt zu wählen. Durch die Wahl sphärischer Flächen erhält man somit immer abwechselnd eine konvexe Zylinderlinse, die als Sammellinse wirkt, und eine konkave Zylinderlinse, die als Zerstreuungslinse wirkt. Nachteilig hierbei ist, dass hinter den konvexen Zylinderlinsen doch relativ enge Fokusbereiche entstehen, die

-13-

bei sehr hohen Intensitäten des auf die Vorrichtung 3 einfallenden Lichtstrahls zu unerwünscht hohen Intensitäten in den Brennpunkten führen kann, die unter Umständen Schäden zur Folge haben können. Eine derartige mit sphärischen Flächen konstruierte Vorrichtung 3 ist somit nur für Anwendungen bei nicht sehr großen Lichtstrahlintensitäten geeignet.

Trotzdem kann eine derartige Vorrichtung 3 aus zueinander gekreuzten Zylinderlinsen auf der Eintrittsfläche 7 und der Austrittsfläche 8 durchaus erfindungsgemäß eingesetzt werden, weil die Übergangsbereiche zwischen den konvexen und konkaven Abschnitten glatt verlaufen. Beispielsweise können hierbei für die konvexen und die konkaven Abschnitte die gleichen Krümmungsradien gewählt werden. Wesentlich ist lediglich, dass der Übergangsbereich zwischen den konvexen und konkaven Abschnitten annähernd differenzierbar ist, so dass keine Stufen oder andere störende Versätze auftreten.

-14-

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur optischen Strahlhomogenisierung mit zwei einander im wesentlichen gegenüberliegenden optisch funktionalen Grenzflächen, die als Eintrittsfläche (7) und als Austrittsfläche (8) für Lichtstrahlen (2, 5) dienen können, wobei die Eintrittsfläche (7) und die Austrittsfläche (8) zumindest abschnittsweise linsenähnliche Strukturen aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der Eintrittsfläche (7) und der Austrittsfläche (8) ausgebildeten Strukturen als abwechselnd nebeneinander angeordnete konvexe Abschnitte (9, 11) und konkave Abschnitte (10, 12) ausgebildet sind, wobei die Übergänge zwischen den konvexen Abschnitten (9, 11) und den konkaven Abschnitten (10, 12) relativ glatt gestaltet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich zwischen den konvexen Abschnitten (9, 11) und den konkaven Abschnitten (10, 12) im Vergleich zu der räumlichen Ausdehnung der konvexen und konkaven Abschnitte (9, 11, 10, 12) in einer Richtung (z) senkrecht zur Eintrittsfläche (7) und zur Austrittsfläche (8) glatt ist, insbesondere keine Stufe oder Kante aufweist, die hinsichtlich ihrer Ausdehnung mit der Ausdehnung der Abschnitte (9, 11, 10, 12) in einer zu der Eintrittsfläche (7) und der Austrittsfläche (8) senkrechten Richtung (z) vergleichbar ist.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Abschnitte (9, 11) und die konkaven Abschnitte (10, 12) eine jeweils in der Eintrittsfläche (7) bzw. der Austrittsfläche (8) liegende Richtung (x, y) aufweisen, längs der zumindest abschnittsweise die Krümmung der Abschnitte (9, 10, 11, 12) im wesentlichen konstant ist, wobei die Richtung (y) im wesentlicher konstanter Krümmung der Eintrittsfläche (7) zu der Richtung (x) im wesentlichen konstanter

-15-

Krümmung der Austrittsfläche (8) senkrecht ausgerichtet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Abschnitte (9, 11) und die konkaven Abschnitte (10, 12) in der jeweils zu der Richtung (y, x) konstanter Krümmung senkrechten Richtung (x, y) eine elliptische Form aufweisen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Abschnitte (9, 11) und die konkaven Abschnitte (10, 12) in der jeweils zu der Richtung (y, x) konstanter Krümmung senkrechten Richtung (x, y) eine hyperbolische oder parabolische oder polynome Form höherer Ordnung oder eine sinusähnliche Form aufweisen.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Abschnitte (9, 11) und die konkaven Abschnitte (10, 12) in der jeweils zu der Richtung (y, x) konstanter Krümmung senkrechten Richtung (x, y) eine Kreisabschnittsform aufweisen, so dass nebeneinander angeordnete konvexe und konkave Zylinderlinsen entstehen.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Krümmung der konvexen Abschnitte (9, 11) im Mittel schwächer ausgebildet ist als die Krümmung der konkaven Abschnitte (10, 12).
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl auf der Eintrittsfläche (7) als auch auf der Austrittsfläche (8) eine große Anzahl von konvexen Abschnitten (9, 11) und konkaven Abschnitten (10, 12) ausgebildet sind, vorzugsweise etwa 100 bis 500, insbesondere etwa 300.

-16-

9. Anordnung zur optischen Strahlhomogenisierung mit einer Vorrichtung (3) zur optischen Strahlhomogenisierung, durch die ein zu homogenisierender Lichtstrahl (2, 5) hindurchtreten kann, wobei in Strahlrichtung hinter der Vorrichtung (3) eine Sammellinse (4) angeordnet ist, die den Lichtstrahl (5) derart fokussiert, dass er etwa im Bereich der Brennebene (6) der Sammellinse (4) homogener ist als vor dem Eintritt in die Vorrichtung (3), gekennzeichnet durch eine Vorrichtung (3) zur optischen Strahlhomogenisierung nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

Fig. 1a

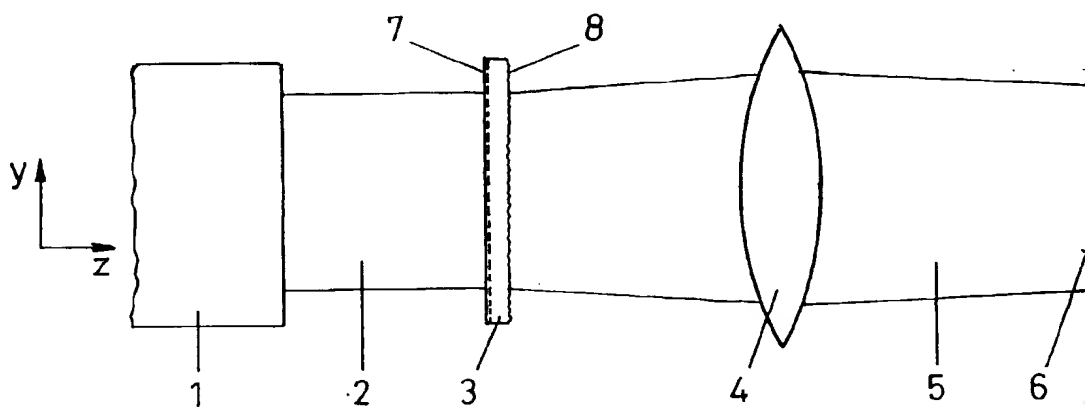


Fig. 1b

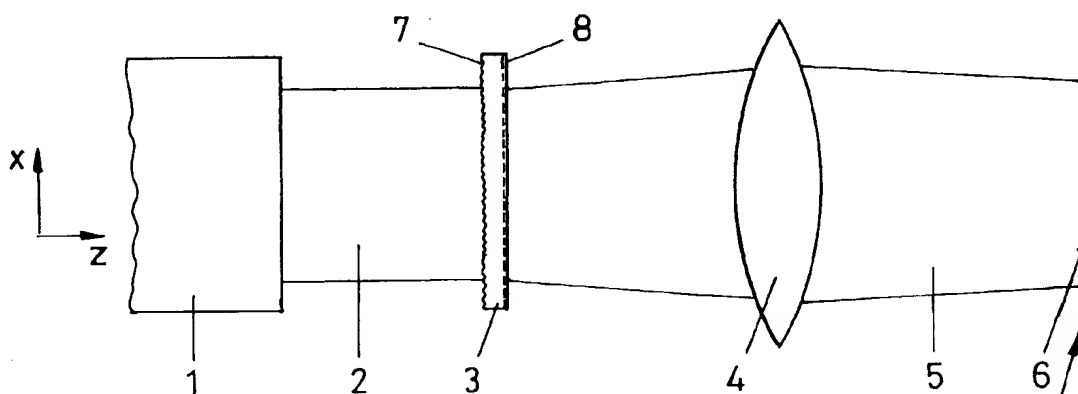


Fig. 1c

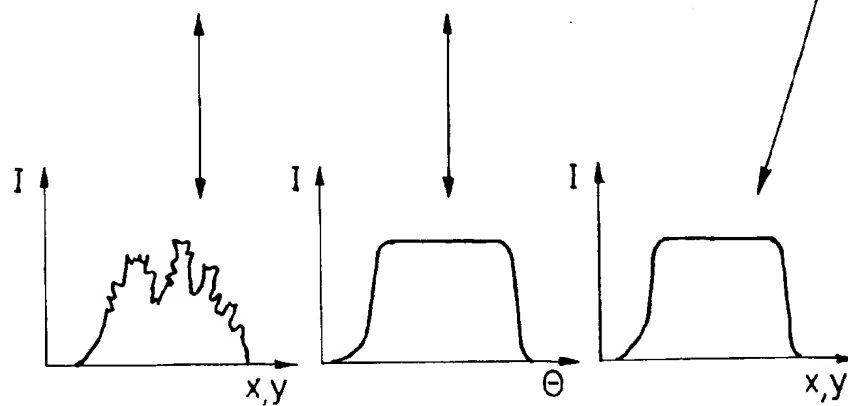


Fig. 2a

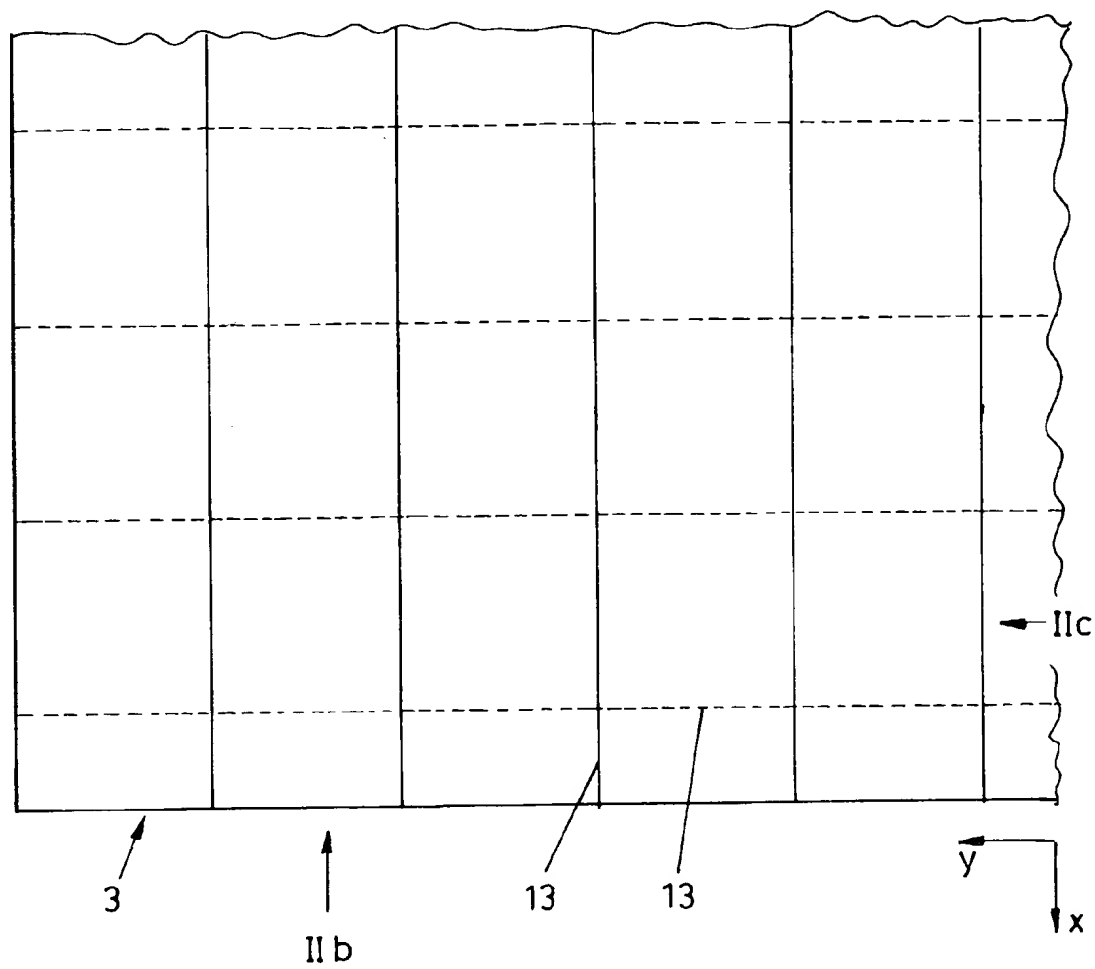


Fig. 2b

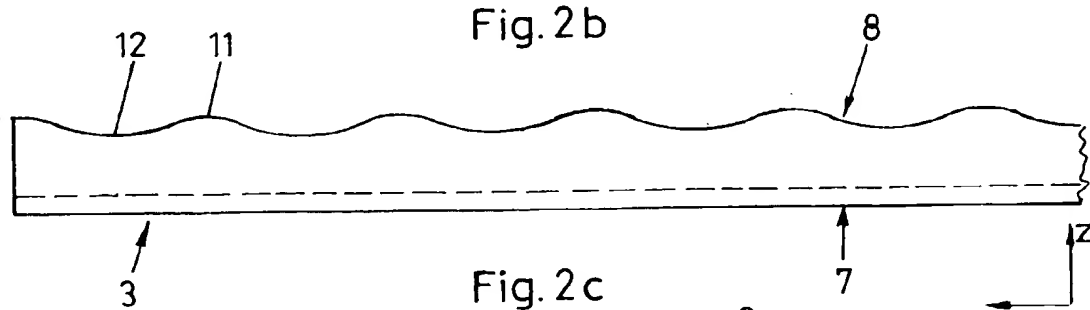


Fig. 2c

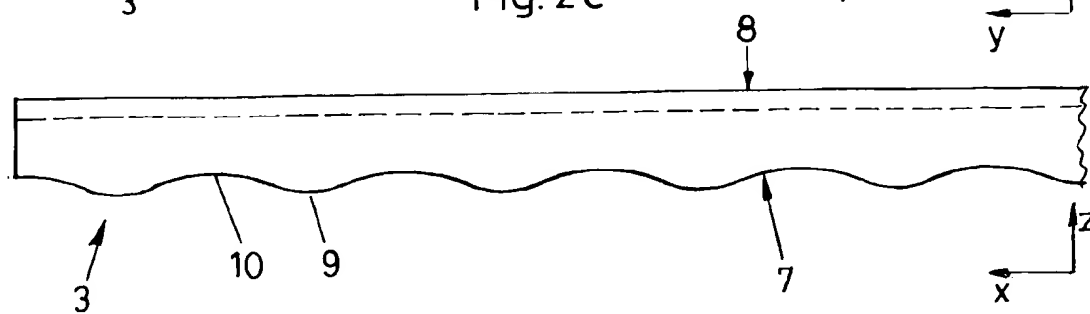


Fig. 3

